

روش تحلیل خرابی و اثرات آن (FMEA)



مهرناز محمد زنجانی پور
کارشناس بهره‌برداری راه آهن و ارشد مهندسی صنایع



پگاه پشین
کارشناس بهره‌برداری راه آهن و ارشد مهندسی صنایع



روش تحلیل خرابی و اثرات آن (FMEA) به منظور تضمین اعتبار و کیفیت محصولات و خدمات استفاده می‌شود. این روش یک روش مهندسی اعتبار است که در صدد ارزیابی نحوه‌ی ایجاد خطا و خرابی در محصول یا خدمت بر می‌آید و می‌توان گفت؛ هدف از پیش‌بینی وقوع خرابی در روش FMEA، پاسخگویی به موارد ذیل است:

- چه چیزی ممکن است با خرابی مواجه شود؟
 - وقوع خرابی چه اثراتی در پی خواهد داشت؟
 - چه چیزی علت اصلی خرابی بوده است؟
- روش FMEA برای اولین بار در سال ۱۹۴۹ میلادی در ارتش آمریکا به‌عنوان یک تکنیک سنجش قابل اطمینان برای مشخص کردن میزان خطای تجهیزات و سیستم به کار برده شد. FMEA به‌طور کلی به‌صورت زیر تعریف می‌شود:
- «یک روش سیستماتیک برای شناسایی عیوب بالقوه‌ی طراحی و جریان تولید قبل از وقوع، با این هدف که خطاها را حذف و یا ریسک وقوع آن‌ها را کاهش دهد».

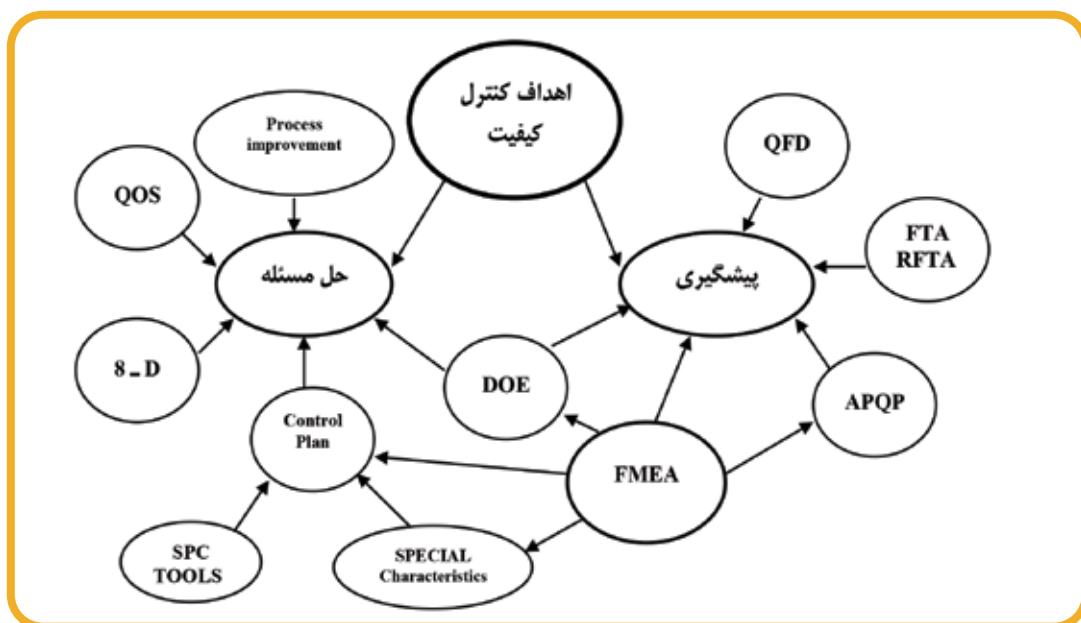
اهداف FMEA:

- ۲- تعیین صریح مسؤولین و کاربران
- ۳- آموزش کافی روش برای کاربران
- ۴- آموزش عملی و علمی آن
- ۵- تشکیل گروه فنی FMEA
- ۶- فعال بودن اعضای گروه
- ۷- سازمان دهی و مدیریت قوی گروه

چه موقع از FMEA استفاده می شود؟

- در زمان طراحی محصول (D FMEA) Design FMEA
- در زمان تولید محصول (P FMEA) Product FMEA
- این روش برای سیستم های خدماتی نیز شبیه سازی می شود (S FMEA) Service FMEA

پس از انتشار استانداردهای سری ISO ۹۰۰۰ در سال ۱۹۸۷ میلادی، شرکت های خودروساز با اضافه کردن الزامات جدید به منظور پوشش فعالیت تأمین کنندگان قطعاتشان، QS ۹۰۰۰ را مطرح کردند که در حال حاضر ISO/ TS ۱۶۹۴۹ جایگزین استاندارد اخیر شده است. مطابق ISO/ TS ۱۶۹۴۹ (QS ۹۰۰۰) تولیدکنندگان خودرو که این استانداردها را به کار می گیرند، باید برنامه ریزی کیفی تولید پیشرفته (APQP یا Advanced Product Quality Planning) را همراه FMEA در طراحی و تولید به کار برند و همچنین برنامه های کنترلی خود را توسعه دهند. شکل زیر نقش FMEA را در سیستم کنترل کیفیت نشان می دهد. (تصویر شماره ۱)



راهنمای کلمات اختصاری:

- 8- D: Eight Disciplines of Problem Solving
- AIAG: Automotive Industry Action Group
- APQP: Advanced Product Quality Planning
- ASQC: American Society for Quality Control
- FMEA: Potential Failure Mode and Effects Analysis
- ISO: International Organization for Standardization
- RFTA:

- FTA: Fault Tree Analysis
- DOE: Design of Experiments
- QFD: Quality Function Deployment
- QOS: Quality Operating System
- RPN: Risk Priority Number
- SPC: Statistical Process Control
- Reverse Fault Tree Analysis

مشاهده می‌شود)، حالات خرابی اضافه‌ای بنویسید. این حالات خرابی جدید نشان دهنده‌ی آن است که حتی نتایج غیرمحتمل تر با در بر گرفتن شرایط محیطی که تحت آن شکل می‌گیرند، نیز در نظر گرفته شده‌اند. نتایجی را که در زمان وقوع حالات خرابی اضافی و شرایط خاص آن رخ می‌دهند، جدا کنید. این نتایج را به‌عنوان اثرات حالات خرابی اضافی در نظر بگیرید.

تعیین شدت اثر (Severity):

قدم اول در تعیین ریسک، مقداردهی شدت تأثیرات حالات خرابی است. تأثیرات در مقیاس ۱ تا ۱۰ درجه‌بندی می‌شوند. ۱۰ بیشترین شدت اثر را دارد. گروه باید در مورد معیار مشخص ارزشیابی و یک طبقه‌بندی مناسب و معقول به توافق برسد. شدیدترین تأثیرات هنگام ارزیابی ریسک تقدم خواهند داشت.

شناسایی دلایل خرابی (Causes):

شناسایی دلایل خرابی باید با حالت خرابی آغاز شود که دارای بیشترین شدت اثر است. در یک FMEA (DFMEA برای طراحی)، نقض‌هایی در طراحی که منجر به حالات خرابی می‌شوند، دلایل خرابی هستند. این روش فرض می‌کند مشخصات تولیدی و مونتاژ دیده شده‌اند و فقط به دنبال شناسایی خطاهایی است که از طراحی محصول حاصل می‌شود. PFMEA (FMEA برای تولید) نیز فرض می‌کند محصول به‌طور قابل قبولی طرح‌ریزی و شده و به علت خطای طراحی، خراب نخواهد شد. تغییرات در خرید قطعات، مواد به کار گرفته شده و ... در جریان تولید در یک PFMEA مورد توجه قرار می‌گیرد.

تعیین رویداد (Occurrence):

رویداد احتمالی است که علتی خاص به وقوع بپیوندد و موجب ایجاد حالت خرابی، حین استفاده از محصول شود. به‌منظور تعیین رویداد از جدول «مقداردهی به احتمال وقوع» استفاده می‌شود. در این جدول در صورتی که نرخ وقوع عیب از هر ۲ نمونه، ۱ مورد باشد، رویداد مقدار ۱۰ و در صورتی که از ۱،۵۰۰،۰۰۰ نمونه، ۱ مورد باشد، مقدار احتمال رویداد ۱ منظور می‌شود.

محاسبه بحران (Criticality):

بحران به‌صورت حاصل‌ضرب شدت اثر و رویداد تعریف می‌شود. به‌عبارت‌دیگر، محصولی که احتمال وقوع خرابی و شدت اثرات زیان‌آور آن بالا باشد، بحرانی است و باید هر چه سریع‌تر نسبت به رفع مشکل اقدام کرد. شدت اثر * رویداد = بحران

گام‌های اجرای FMEA

شناسایی وظایف و حالات خرابی (Functions and Failure Modes):

پس از تعیین سیستم برای آنالیز، ابتدا باید «وظایف» شناسایی شوند. یک وظیفه، هدف مورد نظر محصول یا فرایندی است که مورد بررسی قرار می‌گیرد. در یک سیستم، باید ابتدا وظایف منحصر به فرد زیرسیستم‌ها نیز شناسایی شده، سپس حالات خرابی هر یک از وظایف استخراج شوند. عموماً حالات خرابی در یکی از این پنج دسته می‌گنجد؛ ۱- کاملاً معیوب. ۲- نسبتاً معیوب. ۳- عیوبی که به‌طور متناوب ظاهر می‌شوند. ۴- عیوبی که باگذشت زمان آشکار می‌شوند. ۵- عیوبی که در محدوده‌ی بالاتری از حد تعریف‌شده برای هدف هستند.

برای مثال در یک چراغ‌قوه که وظیفه‌ی آن «فراهم کردن نور در محدوده ۰/۵ تا ۳ کندلا تعریف‌شده است، حالات خرابی می‌توانند به این صورت تعریف شوند؛ ۱- بدون نور ۲- کم‌نور ۳- قطع و وصل شدن نور. ۴- به‌تدریج کم‌نور شدن. ۵- بسیار روشن ممکن است وظایف به‌درستی تعریف‌نشده باشد. برای مثال؛ چراغی که خاموش نشود، با وجود تأمین کردن وظیفه‌ی موردنظر، دارای عیب تولیدی است. در این‌جا نیاز به بازنگری در تعریف وظیفه‌ی چراغ‌قوه کاملاً محسوس است و وظیفه‌ی اصلی دوباره به‌صورت «فراهم کردن نور در محدوده‌ی ۰/۵ تا ۳ کندلا، وقتی چراغ روشن است» تعریف می‌شود. تعیین دسته‌های حالات خرابی، بستگی به وظیفه‌ی تعریف‌شده خواهد داشت و استفاده از دسته‌بندی حالات خرابی، می‌تواند به روشن کردن وظایف کمک کند.

شناسایی اثرات خرابی (Effects):

در مدل FMEA که به‌وسیله‌ی گروه مشاوره هولیلند (Haviland) ارائه شده است، این‌طور فرض می‌شود که اثرات حالات خرابی همیشه هنگامی اتفاق می‌افتد که حالت خرابی اتفاق بیفتد. اما ممکن است حالت خرابی تنها در یک اثر نتیجه نشود. روشی که برای یافتن نتایج بالقوه‌ی خرابی به کار می‌رود، حتی نتایج غیرمحتمل و جزئی را نیز در نظر می‌گیرد و به‌وضوح اثرات را به خرابی‌هایی که تحت حالت خرابی اتفاق می‌افتد، ارتباط می‌دهد. این کار به‌وسیله‌ی طوفان فکری توسط گروه انجام می‌شود.

روشی برای شناسایی نتایج بالقوه:

- یک حالت خرابی (FM-۱) را در نظر بگیرید و تمام نتایج بالقوه‌ی آن را لیست کنید.
- نتایجی را که در صورت وقوع حالت خرابی مشاهده می‌شوند، جدا کنید و آن‌ها را به‌عنوان اثر حالت خرابی (FM-۱) در نظر بگیرید.
- برای نتایج باقیمانده (نتایجی که تحت شرایط خاص وقوع (FM-۱)

شناسایی کنترل‌های جاری (Current Controls):

کنترل‌های طراحی و تولیدی بر اساس اهدافشان طبقه‌بندی می‌شوند:

نوع ۱: این کنترل‌ها از وقوع علت یا حالت خرابی جلوگیری کرده و نرخ وقوع را کاهش می‌دهند.

نوع ۲: این کنترل‌ها علت یا حالت خرابی را کشف کرده و فعالیت تصحیح کننده‌ای را پیشنهاد می‌دهند.

نوع ۳: این کنترل‌ها حالت خرابی را قبل از آن که محصول به دست مشتری برسد کشف می‌کنند.

کنترل‌های نوع ۱ احتمال این که علت یا حالت خرابی به وقوع بپیوندد را کاهش می‌دهد. بنابراین؛ در میزان وقوع تأثیر می‌گذارند. کنترل‌های نوع ۲ و نوع ۳ به ترتیب علت و حالت خرابی را کشف کرده و بنابراین؛ در میزان کشف خرابی تأثیر می‌گذارند.

تعیین و ارزیابی نرخ اولویت ریسک (RPNs):

نرخ اولویت ریسک (Risk Priority Number) یک شاخص بحرانی است که نمایانگر لزوم اجرای اقدامات مناسب اصلاحی، برای برطرف کردن وقوع حالت خرابی است. RPN بدین صورت محاسبه می‌شود:

$$RPN = S \times O \times D$$

که در آن S نمایانگر شدت اثر خرابی (Severity)، O نمایانگر رویداد یا احتمال وقوع خرابی (Occurrence) و D نمایانگر کشف خرابی (Detection) یعنی توانایی کشف خرابی قبل از رسیدن محصول به دست مشتری است. با توجه به مطالب گفته شده مبنی بر این که اعداد S، O و D در بازه‌ی ۱ الی ۱۰ تغییر می‌کنند، نرخ اولویت ریسک عددی بین ۱ تا ۱۰۰۰ خواهد بود. هر چه عدد مذکور به ۱۰۰۰ نزدیک‌تر باشد، نشانه بحرانی‌تر بودن محصول معیوب یا خدمت ناقص است. در تعیین محصول یا خدمات بحرانی، مشخص کردن بحران که در قسمت‌های قبل تشریح شد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در انتها، مطابق اصل پارتو، مقادیری که دارای بیشترین نرخ اولویت ریسک هستند، می‌توانند به‌عنوان توجیهی برای انجام اقدامات اصلاحی و برطرف ساختن حالت خرابی محسوب شوند. (تصویر شماره ۲)

تعیین احتمال کشف خرابی (Detection):

میزان کشف خرابی بر اساس کنترل‌ها مشخص می‌شوند. کشف خرابی معیاری برای توانایی کنترل‌ها در کشف علت خرابی، حالت خرابی و یا پیامد حالت‌های خرابی است. در صورتی که احتمال کشف به‌واسطه‌ی کنترل‌ها وجود نداشته باشد، عدد کشف خرابی مقدار ۱۰ و در صورتی که با قابلیت اطمینان بالایی احتمال کشف خرابی وجود داشته باشد، عدد کشف خرابی مقدار ۱ را به خود اختصاص می‌دهد.



اقدامات اصلاحی (Corrective actions):

در این مرحله، بخش‌های مختلف سازمان که به نحوی با خرابی‌های بالقوه در ارتباط هستند، اقدامات اصلاحی را بر اساس فرم‌های تحلیل خرابی و مدارک تهیه شده تعیین و برنامه‌ریزی می‌کنند. لازم به یادآوری است، از آنجاکه فرایند اجرایی FMEA، فرایندی پیوسته و مکرر است، باید مدارک و فرم‌های کار، به‌منظور تعیین اولویت دارترین حالت خرابی به‌طور پیوسته مورد بازنگری گروهی قرار گیرند. در فلوجارت زیر جریان FMEA نشان داده شده است.

به منظور ایجاد درک بهتر از مطالب عنوان شده، قسمت کوچکی از سیستم بازرسی قبل از حرکت توربوشاژر لکوموتیوهای GE را با استفاده از روش FMEA تحلیل می‌کنیم. بازرسی قبل از حرکت این توربوشاژرها شامل مواردی چون کنترل فشار هوای تولید شده (خواندن گیج)، کنترل دود خارج شده از دودکش لکوموتیو، کنترل لرزش غیرعادی توربوشاژر، کنترل نشستی آب‌وهوا و روغن و کنترل صدای توربوشاژر است. از میان این موارد فعالیت کنترل دود خارج شده از دودکش لکوموتیو را در نظر گرفته و از میان حالات خرابی این فعالیت، به بررسی ۲ حالت خرابی اکتفا می‌کنیم.

سیستم: بازرسی قبل از حرکت توربوشاژر GE. فرم FMEA

RPN	det	کنترل	Occ	علت خرابی	Sev	اثر خرابی	حالت خرابی	فعالیت
۲۱۰	۵	- وجود برنامه‌های بازرسی دقیق برای کنترل موتور		کنترل ناقص مواردی در موتور که منجر به دودزایی می‌شوند.		خرابی احتمالی توربوشاژر دیده نمی‌شود.	دود خارج شده به علت انسداد در توربوشاژر است. ولی بازرسی آن را به موتور نسبت می‌دهد (در حالی که موتور اشکالی ندارد).	کنترل دود خارج شده از دودکش لکوموتیو
۲۱۰	۵	- کنترل مواردی در موتور که منجر به دودزایی توربوشاژر می‌شوند	۶	کنترل ناقص مواردی در موتور که منجر به دودزایی می‌شوند.	۷	خرابی احتمالی توربوشاژر دیده نمی‌شود.	نسبت می‌دهد (در حالی که موتور اشکالی ندارد).	
۴۲	۲	استفاده از چکلیست	۳	- سهل انگاری بازرسی		خرابی احتمالی توربوشاژر دیده نمی‌شود.	کنترل انجام شد	
۶۳	۳	زمان بندی مناسب برای بازرسی		- کمبود وقت	۷	خرابی احتمالی توربوشاژر دیده نمی‌شود.		
۶۳	۳	اختصاص نیروی انسانی کافی	۳	- کمبود وقت	۷	خرابی احتمالی توربوشاژر دیده نمی‌شود.		

در برنامه‌های که برای این بازرسی در نظر گرفته شده است، بازرسی موتور قبل از بازرسی توربوشاژر صورت می‌گیرد.

از آنجاکه فعالیت بازرسی یک فعالیت خدماتی است، اعداد مندرج در جدول بالا با شبیه‌سازی جداول PFMEA و با استفاده از نظرات کارشناس خیره در این زمینه استخراج شده است. مسلماً برگزاری جلسات طوفان فکری در تیم اجرایی FMEA می‌تواند بابت هر چه واقعی‌تر و عملی‌تر بودن روش مفید واقع شود. همان‌طور که گفته شد، هدف نهائی روش FMEA، ایجاد یک سیستم مطمئن با ریسک پائین است، از این‌رو برای رسیدن به یک روش بازرسی مطمئن که به موقع مشکلات را شناسایی و برطرف کند، برای حالات خرابی با ریسک بالا مطابق اصل پارتو، اقداماتی پیشنهاد می‌شود. در مثال ارائه شده باید نرخ‌های ریسک به‌دست‌آمده (RPNs) با نرخ‌های ریسک سایر فرم‌های FMEA در سیستم موردنظر، مقایسه شود. نرخ‌های ریسک بالا از اولویت بیشتری به‌منظور ارائه اقدامات اصلاحی برخوردار خواهند بود. لازم به یادآوری است که اجرای موفقیت‌آمیز FMEA نیاز به پیگیری مداوم و به‌روز کردن اطلاعات دارد. به این ترتیب که مسؤول اجرای FMEA در سیستم، با همکاری تیم تخصصی، باید در تمام مراحل، ناظر به روش اجرا بوده و با برداشت آمار و اطلاعات واقعی، اعداد و مندرجات جداول FMEA را کنترل کند و آن‌ها را به‌روز درآورد. همچنین؛ تیم اجرایی FMEA موظف است میزان تأثیر کنترل‌ها و اقدامات ارائه شده را در کاهش ریسک ارزیابی کرده و در صورت لزوم اقدام به تغییر دستورالعمل‌ها و یا ارائه پیشنهاد‌های جدید کند.

